Проблема изменения климата

Ильясов Ш.А., Озоновый центр

Баланс потоков энергии

Изменение температуры поверхности Земли определяется изменениями потоков приходящей и уходящей с нее тепловой энергии. Поступление энергии к поверхности определяется прежде всего солнечным излучением, падающим на Землю, а практически весь отвод - переизлучением поверхностью энергии обратно в космос, уже в инфракрасном диапазоне. Вклад внутренних источников в поток энергии к поверхности очень мал – на четыре порядка меньше потока солнечного излучения, достигающего. Отвод энергии от Земли не за счет излучения, а за счет истечения молекул газов, прежде всего водорода, мал чрезвычайно, можно сказать ничтожен.

Сам солнечный поток, падающий на Землю и поглощаемый ею, тоже испытывает изменения со временем. За 4,5 млрд. лет, прошедших со времени образования Земли, светимость Солнца выросла на несколько десятков процентов (от 25% до 65% по разным расчетам). Кроме того, солнечный поток испытывает периодические колебания с периодами в десятки лет (например, известный 11-летний цикл), но колебания эти (порядка 0,1%) очень слабы для заметного влияния на климат. В результате периодических изменений параметров орбиты Земли, меняется и поток солнечной энергии (с периодами в десятки и сотни тысяч лет), достигающий разных широт земной поверхности в отдельные времена года, что оказывает заметное влияние на климат. Этот механизм объясняет причины периодических оледенений, неоднократно происходивших на протяжении последних нескольких миллионов лет. По различным причинам меняется и количество сразу же отраженной от поверхности и атмосферы Земли солнечной энергии. Это определяется содержанием в атмосфере Земли аэрозолей, рассеивающих и отражающих солнечную энергию (прежде всего сульфатные аэрозоли), а также типом поверхности той или иной территории (снежный покров и чернозем отражают совсем разные доли падающей на них солнечной энергии).

Отвод тепловой энергии с самой поверхности Земли в атмосферу идет сразу несколькими путями (конвекция, испарение с поверхности и конденсация в атмосфере паров воды, излучением в инфракрасном диапазоне, теплопроводностью газов), однако отвод энергии в космос осуществляется практически только одним излучением. В отсутствии атмосферы на поверхности Земли устанавливается равенство потоков поглощенной поверхностью части солнечной энергии (в основном в видимом диапазоне) и переизлученной ее же обратно в космос (в инфракрасном диапазоне). При этом на поверхности устанавливается некоторая температура, среднее значение которой по всей поверхности, в нынешнюю эпоху должно быть равно около 255К (–18°С) . Однако, если Земля окружена атмосферой, то температура поверхности планеты должна зависеть от условий прохождения через атмосферу приходящего и уходящего потоков энергии, от процессов многократного рассеяния, поглощения и переизлучения фотонов при прохождении сквозь атмосферу.

Молекулы газов и частички аэрозолей участвуют в процессах рассеяния света, что особенно проявляется в коротковолновой видимой области спектра, в то время как в инфракрасной области это происходит несравненно слабее – рассеяние очень сильно зависит от частоты света и коротковолновое излучение рассеивается значительно сильнее длинноволнового.

Итак, если в атмосферу ввести некоторое количество вещества, которое сильно поглощает и переизлучает во все стороны излучение инфракрасного диапазона (в котором и идет отвод энергии от Земли в космос), то часть отдаваемой в космос энергии будет заворачиваться назад, к поверхности, ухудшатся условия отвода энергии от поверхности. Если еще и взаимодействие с видимым светом (в диапазоне которого идет основной приток

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

солнечной энергии к Земле) у этого вещества будет значительно слабее, чем с инфракрасным излучением, то поток энергии, приходящий к поверхности, станет больше уходящего с нее потока, нарушится их баланс. Поначалу, соответственно, снизится и поток излучения в космос. Но поверхность начнет разогреваться, излучение ее будет усиливаться, и в конце концов, часть этого потока, остающаяся после прохождения сквозь атмосферу (другая часть возвращается назад к поверхности), сравняется с потоком энергии, приходящим из космоса. Установится новое равновесное состояние, которое будет сохраняться до тех пор, пока в атмосфере опять не изменится количество упомянутого вещества.

Суть парникового эффекта как раз и состоит в том, что направленный в космос от поверхности, поток энергии в инфракрасном диапазоне поглощается молекулами некоторых газов, и переизлучается ими во все стороны (в том же диапазоне), а значит половина поглощенного данными молекулами потока энергии заворачивается назад, к поверхности Земли, что дополнительно разогревает ее. Именно с изменением величины этого эффекта связывают сейчас происходящее потепление климата. Этот фактор четко привязан к происходящей последнее время активизации человеческой деятельности, и в отличии от большинства других факторов может меняться столь быстро и мощно как ныне. Парниковый эффект поднимает температуру у поверхности Земли немногим более чем на 30 градусов – до 287К (+14°С).

Парниковые газы и атмосферные аэрозоли

Любой газ, имеющий полосы поглощения (а значит и излучения) в инфракрасном диапазоне, и практически не имеющий их в диапазоне видимого света (либо имеющий слабые полосы в этом диапазоне по сравнению с инфракрасным), будет парниковым в условиях Земли. Несмотря на то что в самой атмосфере происходит перенос тепла разными путями, и участвуют в нем разные газы, эффективно излучать энергию в инфракрасном диапазоне, а значит и участвовать в отводе энергии из самой атмосферы в космос могут практически только парниковые газы, основная масса которых сконцентрирована в нижних слоях атмосферы – тропосфере).

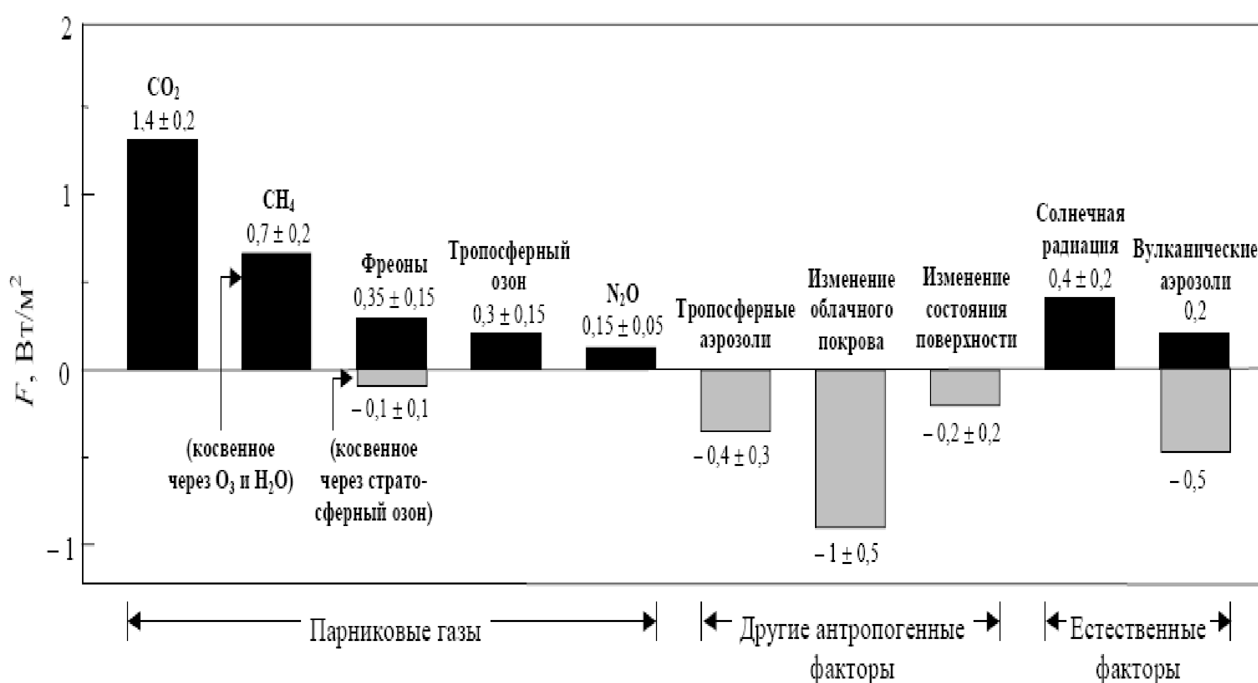


Рис. 1. Оценка воздействия на климат различных атмосферных факторов с 1850 по 2000 г. (Вт/м^2)

Самым главным парниковым газом в земной атмосфере на сегодняшний день является **водяной пар**, что связано с высоким содержанием его в атмосфере и наличием у него широких и мощных полос поглощения в инфракрасной области спектра. Вклад водяного пара в общий парниковый эффект составляет ныне около 20,6°С.

Второй по вкладу в общий парниковый эффект сейчас – это **углекислый газ**. Его вклад составляет сейчас около 7,2°С. Однако, как раз на содержание этого газа в атмосфере человечество влияет непосредственно и очень сильно, и современное повышение температуры обусловлено прежде всего повышением именно его концентрации в атмосфере. За последние два с половиной столетия (т.е. с начала индустриальной эпохи) его содержание в атмосфере выросло приблизительно на 30%, причем наиболее интенсивно этот рост происходит в последние десятилетия, что вполне понятно – интенсивно растет потребление энергии человечеством, большую часть которой дает сжигание угля и углеводородов. Как и другие парниковые газы, кроме водяного пара, двуокись углерода не вымораживается при низких температурах, и продолжает оказывать влияние на парниковый эффект постоянно на больших высотах, и в высоких широтах.

Еще один парниковый газ – **озон**, который взаимодействует как с ультрафиолетовым, так и с инфракрасным излучением. Его вклад в парниковый эффект составляет сейчас около 2,4°С. Однако благодаря человеческой деятельности его содержание в атмосфере, в общем, понизилось за последние десятилетия (в стратосфере заметно понизилось, но в тропосфере повысилось), благодаря чему его парниковый эффект оказался ниже, чем мог бы быть, на несколько десятых долей градуса. Несмотря на весьма малое содержание озона в атмосфере, его способность поглощать инфракрасное излучение намного выше чем у углекислого газа, что объясняет столь значимый вклад в общий парниковый эффект. Однако озон поглощает и ультрафиолетовое излучение, что снижает приток энергии от Солнца к земной поверхности, поэтому влияние озона на баланс рассматриваемых потоков энергии довольно неоднозначно.

Закись азота дает сейчас около 1,4°С в общий парниковый эффект. Ее концентрация тоже растет благодаря человеческой деятельности (за счет сжигания различных отходов прежде всего), но не столь быстро, как у углекислого газа. Повышение ее концентрации за всю индустриалью эру составило около 17%. Как и у озона, способность поглощать инфракрасное излучение у закиси азота значительно выше, чем у углекислого газа (в 310 раз), что объясняет ее заметный вклад в парниковый эффект при значительно меньших концентрациях в атмосфере.

Однако наиболее пристальное внимание стоит обратить на **метан**, хотя пока еще его вклад в общий парниковый эффект составляет около 0,8°С. Его способность поглощать инфракрасное излучение больше чем у углекислого газа в 21 раз (на единицу массы). При этом его концентрация растет очень быстро – с начала индустриальной эпохи она выросла на 150% (причем в основном в последние десятилетия.

Удельное поглощение земного инфракрасного излучения очень велико и у **фреонов** – в 3 – 13 тыс. раз выше чем у углекислого газа той же массы. Фреоны, а также закись азота, метан и озон закрывают остающийся после действия паров воды и углекислого газа очень важный островок прозрачности в инфракрасном спектре поглощения земной атмосферы – в области 900-1200 $см^{-1}$, который расположен вблизи максимума в спектре излучения Земли. Однако содержание фреонов в атмосфере еще очень мало для мощного парникового эффекта, и навряд ли вырастет сильно в ближайшем будущем – природных источников фреонов не существует, все производство и выделение их в атмосферу обусловлено только человеческим фактором, потребности же в них вырастут в обозримом будущем довольно незначительно. К тому же сейчас происходит замена использовавшихся типов фреонов на новые, которые обладают значительно меньшим временем жизни в атмосфере и будут довольно быстро из нее выводиться, практически не накапливаясь.

Кроме парниковых газов, на баланс потоков энергии, проходящих через атмосферу, как уже было упомянуто выше, серьезно влияют и **атмосферные аэрозоли**, которые несмотря на небольшое свое содержание в атмосфере (всего около 60 млн. тонн), довольно сильно влияют на ее оптические свойства. Солнечное излучение проходя через атмосферу к поверхности, испытывает рассеяние на частицах аэрозолей и молекулах газов, что ослабляет доходящий до поверхности поток и возвращает часть его назад в космос. Аэрозоли

оказывают своеобразный антипарниковый эффект – они довольно сильно рассеивают излучение в видимой области спектра, прежде всего в ее коротковолновой области (рассеяние весьма сильно зависит от частоты, пропорционально четвертой степени ее). А в инфракрасной области аэрозоли взаимодействуют с излучением значительно слабее.

Следует заметить, что антипарниковый эффект не уменьшает действие парникового эффекта так сильно, как это можно было бы подумать. Парниковый эффект действует в круглосуточно, а антипарниковый эффект только днем. К тому же парниковый эффект достаточно равномерно распределен по земному шару, а антипарниковый эффект привязан в основном к северному полушарию – мировая промышленность, основная часть которой сосредоточена именно в северном полушарии, выбрасывает аэрозоли в тропосферу, а время жизни их в тропосфере невелико (порядка недели, а то и меньше), и достигнуть другого полушария они часто не успевают.

Рассмотрим вопрос: действительно ли климат изменяется? Одно время ответ на этот вопрос не вызывал ни у кого сомнений. Однако, в последнее время дискуссия несколько оживилась, учитывая оживившуюся в последнее время дискуссию между сторонниками различных взглядов на изменение климата, связанную с отказом США участвовать в Киотском протоколе и осознанием другими странами огромных объемов необходимых затрат.

С одной стороны имеется ряд действительно наблюдаемых фактов, которые часто преподносятся как неоспоримое доказательство действительных изменений климата, это такие как:

- увеличение средней глобальной температуры поверхности земли на 0.6±0.2 ^{o}C в течении 20 века, а для нашей республики на 1^{o}C;
- увеличение диапазона дневной температуры на поверхности в период с 1950 по 2000 г. на суше (темпы увеличения максимальных температур в ночное время превышали в два раза темпы увеличения максимальных дневных температур);
- увеличение материковых осадков на 5-10% в течении 20 века в северном полушарии.

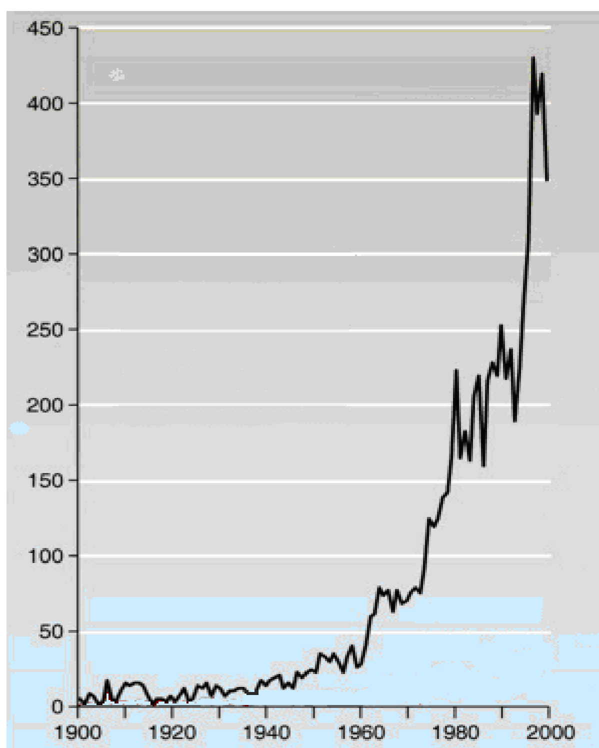


Рис. 2. Динамика числа чрезвычайных ситуаций в год (землетрясения, засухи, наводнения, оползни, цунами, сильный ветер и т.д.)

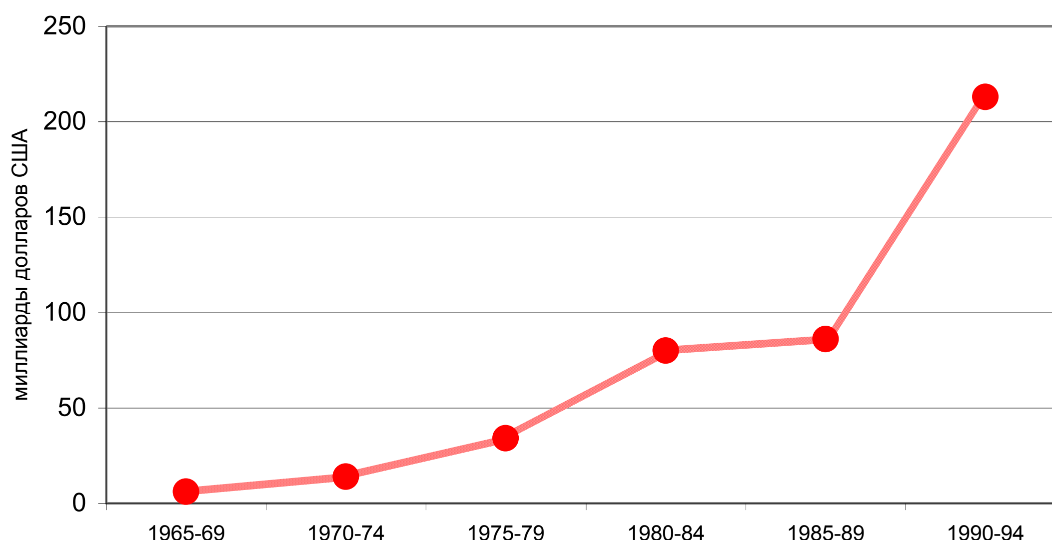


Рис. 3. Общемировые тенденции убытков, связанных с климатическими явлениями

Имеется и ряд фактов вытекающих из приведенных выше, это и повышение уровня моря, таяние ледников, снижение площади снежного покрова, более раннее цветение и т.д.

Однако если рассмотреть эти факты внимательнее, то учитывая вероятностный характер происходящих процессов (по крайней мере в свете настоящих научных знаний), становиться очевидным, что они могут быть вполне объяснены как, хотя и мало вероятные, но тем не менее возможные случайные флуктуации.

Аналогичные выводы можно сделать и по рассмотрению взаимосвязей между содержанием диоксида углерода в атмосфере и температурой (см. рис. 4).

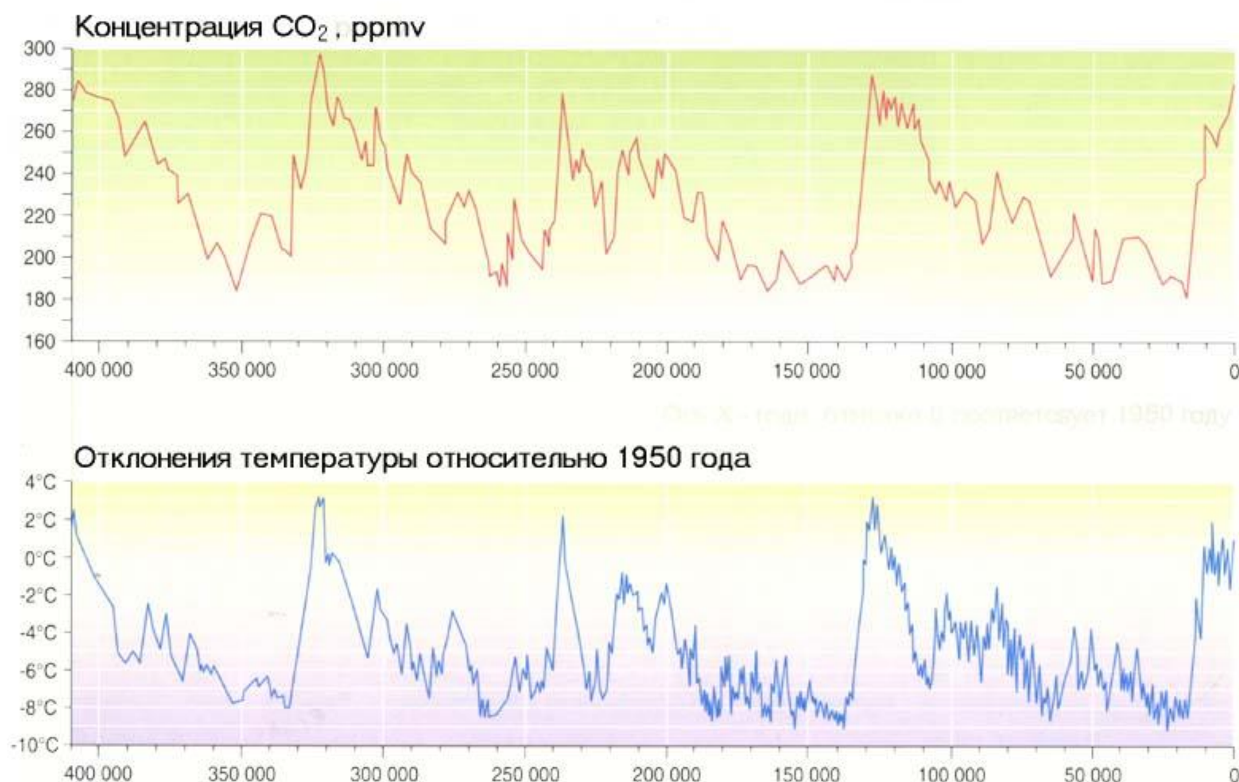


Рис. 4. Связь температуры и концентрации диоксида углерода

Из имеющихся зависимостей, как уже неоднократно отмечалось многими учеными, трудно понять, что является первопричиной или эти процессы порождаются совершенно другими неучтенными внешними причинами. С другой стороны периодичность климатических изменений определяет возможность влияния некоторых, пока неизвестных механизмов. Кроме того, как видно из рис 5,. наблюдаемые изменения не являются экстремальными. Следовательно, хотя наблюдаемые изменения климата весьма значительные, мы не можем по имеющейся в настоящее время информации, полностью исключить случайный характер происходящих изменений.

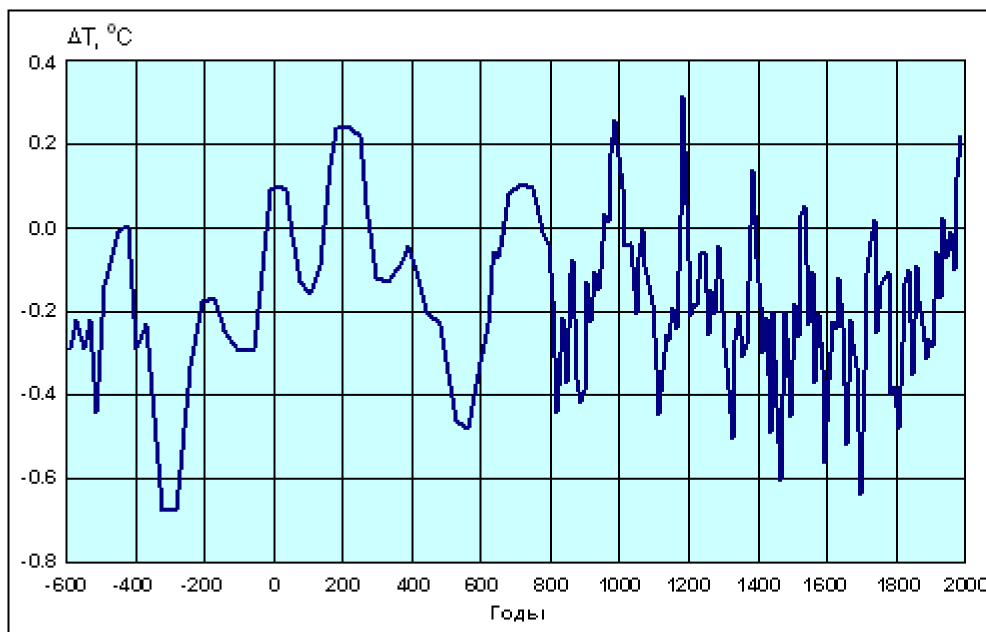


Рис. 5. Изменения глобальной температуры за последние 2500 лет

Рассмотрение вопроса о возможном антропогенном характере изменений из вышесказанного становиться излишним, так вероятный характер результата порождает и вероятный характер степени воздействия. Тем более, если учитывать тот факт, что антропогенная доля парниковых газов в атмосфере составляет около 3%.

Наиболее простой способ определения верности любой теории - это возможность воспроизведения результатов. Поскольку воспроизвести рассматриваемые процессы в натуральных масштабах невозможно, остается путь моделирования. Для моделирования разработаны климатические модели, они носят название глобальных климатических моделей. Почему глобальные? Потому что, в силу своего настоящего несовершенства они могут корректно оценить климатические факторы только в целом для планеты, но не способны пока оценить их для отдельной страны или хотя бы региона. Рассмотрим результаты использования этих моделей для уже известного периода.

Из результатов, полученных с использованием глобальных климатических моделей, можно сделать вывод, что они вполне правдоподобно описывают глобальные климатические процессы. Следует отметить, что эти модели не позволяют оценить изменение климата в отдельных регионах и проверить их правдоподобность по локальным наблюдениям невозможно. Кроме того, они не учитывают многие факторы, которые так же должны существенно влиять на региональные изменения климата (например, рельеф). Тем не менее, глобальный тренд они оценивают вполне удовлетворительно, т.е. влияние антропогенных факторов действительно значительно и на использованном временном периоде учитывается вполне корректно.

Следовательно, действия по сокращению антропогенных эмиссий парниковых газов являются действительно необходимыми и могут привести к сохранению климатических условий на Земле.

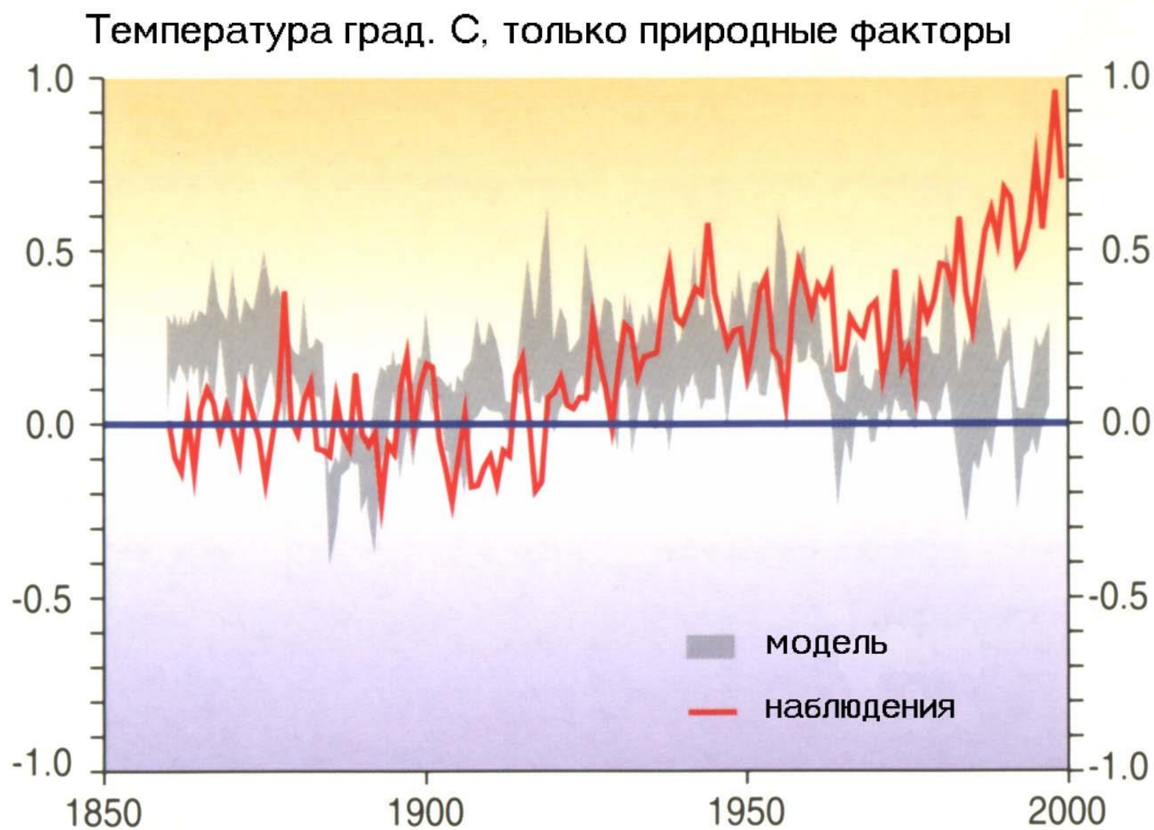


Рис. 6. Оценка глобальной температуры по природным факторам

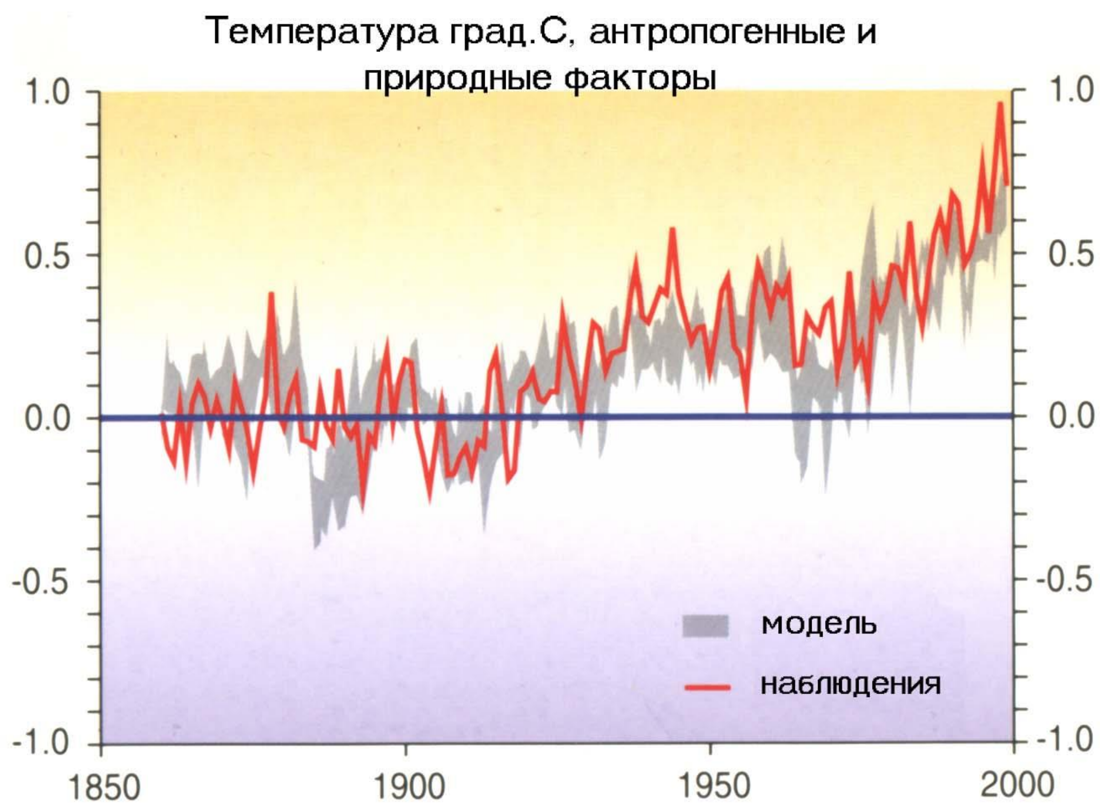


Рис. 7. Суммарная оценка глобальной температуры

Действия международного сообщества

Принятие Рамочной конвенции ООН об изменении климата определило только направления действий и мониторинг эмиссии парниковых газов. Основные надежды на конкретные действия по сокращению эмиссии парниковых газов возлагались на Киотский протокол к Рамочной конвенции. В силу различных причин, после подписания протокола в Киото в 1997 г., вступление его в силу задержалось до 16 февраля 2005 года. Страны Приложения В протокола определили для себя количественные обязательства по ограничению либо сокращению выбросов на период с 1 января 2008 до 31 декабря 2012 года. Цель ограничений — снизить в этот период совокупный средний уровень выбросов 6 типов газов и групп газов (CO_2, CH_4, HFCs, PFCs, N_2O, SF_6) на 5,2 % по сравнению с уровнем 1990 года.

Основные обязательства взяли на себя индустриальные страны:

- Евросоюз должен сократить выбросы на 8%;
- Япония и Канада — на 6%;
- Страны Восточной Европы и Прибалтики— в среднем на 8 %;
- Россия и Украина — сохранить среднегодовые выбросы в 2008—2012 годах на уровне 1990 года.

Развивающиеся страны, включая Китай и Индию, обязательств на себя не брали, но могут участвовать в снижении эмиссии через так называемые механизмы гибкости:

- **торговлю квотами**, при которой государства или отдельные хозяйствующие субъекты на его территории могут продавать или покупать квоты на выбросы парниковых газов на национальном, региональном или международном рынках;
- **проекты совместного осуществления** — проекты по сокращению выбросов парниковых газов, выполняемые на территории одной из стран Приложения I Рамочной конвенции полностью или частично за счёт инвестиций другой страны Приложения I Рамочной конвенции;
- **механизмы чистого развития** — проекты по сокращению выбросов парниковых газов, выполняемые на территории одной из стран РКИК (обычно развивающейся), не входящей в Приложение I, полностью или частично за счёт инвестиций страны Приложения I Рамочной конвенции.

Киотский протокол - пилотный этап глобального экологического соглашения по предотвращению катастрофических изменений климата. Климатический эффект от первой фазы Киотского протокола (2008–2012 гг.) невелик (может быть даже отрицательным за счет отсутствия обязательств для развивающихся стран), но важно начать практическую деятельность и запустить механизмы международной кооперации.

В целом переговоры находятся в начальной стадии, когда еще не выработан окончательный формат обязательств. В какой то мере очевидно, что одним из элементов будущего формата будет таблица с численными обязательствами развитых стран – нынешнее Приложение Б Киотского протокола. Однако, также очевидно, что эта таблица не может быть единственным объектом переговоров. Должны быть в какой-то форме отражены обязательства развивающихся стран. Возможно, нужна корректировка самого текста Киотского протокола. Наконец, вне Киото сейчас США – крупнейшая страна мира с крупнейшими выбросами парниковых газов. Как «форматировать» участие США в будущем соглашении? Какие дополнительные инициативы и предложения должны быть у глав делегаций на завершающем этапе переговоров, чтобы каждая страна или группа стран могла эффективно отстаивать свои интересы? Все это пока не ясно. Вероятно, в одной фразе состояние переговоров можно охарактеризовать как «форматирование переговорного пакета для последующего наполнения и будущего «торга».

В этом этапе не удивительно, что переговоры параллельно идут по нескольким направлениям, имеющим разный статус и уровень детализации обсуждаемых вопросов.

Недостатки существующих положений Киотского протокола очевидны, кроме перечисленных выше, можно отметить чрезмерный и неоправданный объем проектов механизма чистого развития по улавливанию выбросов гидрофтроуглеродов (ГФУ или HFCs), в частности HFC-23, образующегося при производстве HCFC-22 (см. рис. 8).

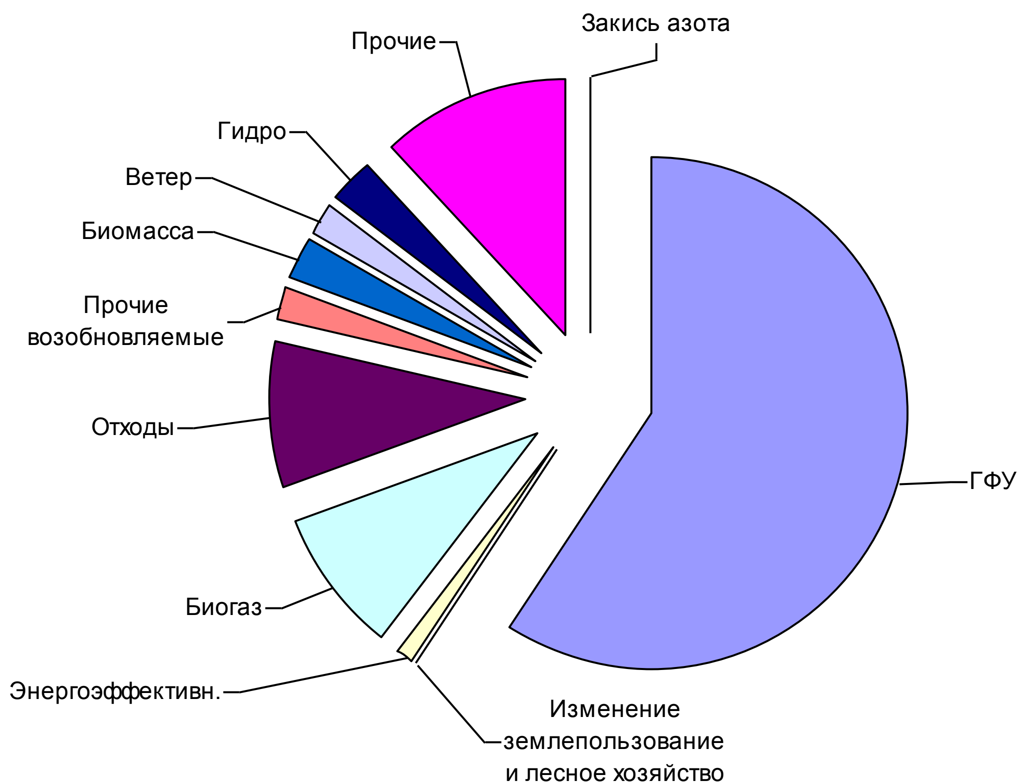


Рис. 8. Распределение проектов по механизму чистого развития (в процентах объема сделок)

Использование HCFC-22 регулируется Монреальским протоколом о защите озонового слоя и выбросы HFC-23 подпадают под ограничения Киотского протокола. Наличие таких проектов по механизму чистого развития может косвенно содействовать большему выбросу озоноразрушающих веществ.